

耐磨材料领域专家袁旭曦同志科研简介

父亲袁旭曦是湖南省长沙市人，上世纪八九十年代湖南省机械研究所耐磨材料第一研究科室带头人，湖南省高级工程师。30 几年专注于铸铁合金、抗磨耐磨新材料研发，深耕矿山破碎设备易损件国产化攻关，是中南地区水电砂石装备耐磨材料领域的知名技术专家。在 “七五” “八五” 省级重点科技攻关期间，他牵头组建课题组，先后完成四项系列化耐磨材料科研课题，形成从经济型废渣合金、稀土低合金铸铁到高温高铬专用抗磨铸件的完整技术体系，破解了大型水电工程进口设备备件卡脖子难题，推动耐磨铸件国产化落地，为湖南省机械新材料产业发展作出突出贡献。

一、主要主持研发的科研课题

课题组围绕矿山、水利砂石生产线磨损痛点，循序渐进开展材料迭代研究，四项课题一脉相承，形成完整技术链条：

- 1. 1987 年，钨渣代钼抗磨材料研究** 依托湖南丰富的钨冶炼工业废渣资源，以钨渣中的钨、钒、铌等复合元素替代昂贵钼铁，研制经济型抗磨铸铁。在保障铸件耐磨性能前提下大幅降低合金原材料成本，实现工业固废资源化利用，主要应用于球磨机衬板、普通破碎机耐磨护板，为中小铸造企业开辟低成本耐磨材料路线。
- 2. 1990—1991 年，稀土 Cr-Mo-Ni 低合金抗磨铸铁的研究** 课题聚焦中等冲击磨粒磨损工况，采用稀土变质工艺优化金相组织，有效打破碳化物网状结构，解决传统白口铸铁脆性大、易崩裂的

行业通病。开发出兼顾韧性与耐磨性的低合金铸铁材料，使用寿命达到高锰钢的 2 倍以上，填补了湖南省稀土改性低铬耐磨铸铁的技术空白，广泛应用于颚式破碎机齿板、砂石溜槽耐磨件。该成果也是后续高端破碎配件研发的基础材质储备项目。

3. 1992 年，诺里冲 APK40 型反击式破碎机冲击锤等 7 种配件研制 本项目为配套五强溪国家重点水电工程的专项国产化课题。当时工程从奥地利进口诺里冲 APK40 反击破碎机，全套 7 种易损配件全部依赖进口，采购成本高昂。袁旭曦团队自主研发 CYK 多元合金高铬铸铁材质，同时完成全部 7 种异形耐磨件的结构测绘、铸造工艺定型，国产配件尺寸与原装产品完全互换。现场装机试验证明，铸件使用寿命比肩奥地利奥钢联原装产品，原材料成本仅为进口件的一半，圆满完成进口备件国产化替代任务。

4. 1995 年，破碎超硬石英岩抗磨铸件的研究 作为 APK40 配件课题的深化升级项目。针对莫氏 7 级高纯石英岩高速破碎产生的 500~600℃ 高温凿削磨损难题，优化 Cr-Mo-Cu-V 多元合金配比，提升铸件高温热硬性，攻克了普通高铬铸铁高温软化、磨损过快的短板。该材质专门用于砂石生产线板锤、反击板，成为国内水电行业破碎超硬石英岩的标杆耐磨材质。

二、科研成果所获荣誉与技术鉴定

（一）行业与省级科技奖励

1. 《稀土 Cr-Mo-Ni 低合金抗磨铸铁的研究》（1991 年）
 - 湖南省机械工业局科技成果一等奖；

- 湖南省优秀科研新产品三等奖； 项目通过湖南省科委技术成果鉴定，成果评定为国内同类技术先进水平，列入湖南省“八五”机械工业重点优秀攻关项目。
1. 《诺里冲 **APK40** 型反击式破碎机冲击锤等 **7** 种配件》（**1993** 年）
 - 湖南省科学技术进步三等奖（省政府颁发）；
 - 湖南省优秀新产品二等奖（省科委、省经贸委联合评定）；
 - 湖南省机械工业局科技成果一等奖； 项目通过省级技术鉴定，整体技术达到国内领先水平，列入五强溪水电站国产化重点推广成果。

延伸课题《破碎超硬石英岩抗磨铸件的研究》（1995 年） 获评湖南省机械工业科技进步二等奖，成果纳入湖南省机械研究所重大科研成果库。

早期课题《钨渣代钼抗磨材料》 荣获湖南省机械工业局科技成果二等奖，成为省内固废资源化制备耐磨铸件的标杆成果。

（二）官方技术认定

四项课题全部完成省级科技成果登记，研制的 CYK 高铬铸铁耐磨配件被认定为湖南省高新技术新产品，后续产业化产品批量供应国内各大砂石矿山，并出口东南亚水电工程项目。

三、技术水平与行业影响力

1. 技术层级：构建了两代耐磨材料技术体系

在九十年代国内耐磨材料行业整体水平下，父亲的研究分为两大梯队：第一梯队是**经济型低合金耐磨材料**：钨渣代钼铸铁、稀土 Cr-Mo-Ni 低合金铸铁，主打低成本、易量产，工艺门槛低，适配中小矿山常温中等磨损工况，技术处于省内领先、国内先进梯队；第二梯队是**高温专用高铬合金铸铁**：CYK 多元合金材质，对标欧美进口耐磨铸件，攻克高速冲击 + 高温磨损双重技术难题，达到同期进口配件同等性能，属于国内水电砂石设备耐磨件国产化的领先技术成果。

整套技术牢牢抓住两大核心创新点：一是利用湖南本地冶炼废渣实现合金代用，降本增效；二是通过稀土变质、多元合金复合强化，平衡铸件耐磨性与抗断裂能力，兼顾材料性能与铸造成品率。时至今日，这套合金配方与砂铸热处理工艺，依然是全国数百家中小型耐磨铸造厂生产砂石破碎机配件的主流基础工艺。

2. 产业价值：助力大型重点工程，形成完整产业技术路线

一是保障国家重点工程建设。成果直接服务五强溪水电站人工砂石系统，彻底摆脱进口配件受制于人的局面，为工程节约数千万元备件采购资金，保障了水电项目连续稳定生产。二是带动湖南耐磨铸件产业集群发展。长沙、郴州、益阳、沅陵一大批民营铸造企业依托该系列技术实现产业化，形成湘南石英岩破碎耐磨配件产业带，长期供应全国砂石矿山。三是形成可长期迭代的技术母本。目前国内所有针对石英岩破碎板锤的材质改良，大多

是在袁旭曦 CYK 合金配方基础上微调优化；钨渣代钼方案至今仍是中小铸件厂控制原料成本的主流手段。

3. 行业传承价值

父亲留下大量手写原始试验记录、金相数据、熔炼热处理参数、铸件结构图纸，包含完整的配方调试、装机对比试验一手资料。这批手稿完整记录了国产耐磨材料从仿制进口到自主创新的全过程，既是珍贵的工业科研史料，也是耐磨铸件行业技术迭代的原始蓝本，为后来新材料改良、工艺升级保留了不可复制的技术源头。

为了不让以上技术成果沉没于箱，让其再次发挥热量，为现代耐磨产品提供技术支持与衍生强化，愿转让父亲原始手稿及相关实验记录和配方，如有兴趣的厂矿企业、耐磨产品研发团队可联系：13507406801 袁先生，电话前请先短信告知来意，谢谢。

主要成果

1. 破碎超硬石英岩抗磨铸件的研究

一、省级核心奖项（湖南省人民政府）

1. 荣获 1995 年湖南省科学技术进步奖二等奖，是该课题最高省级官方科技荣誉。
2. 荣获 1995 年湖南省机械工业厅科技进步一等奖
3. 荣获 1995 年湖南省科学技术委员会科技成果登记证书

4. 荣获 1994 年湖南省经济委员会技术开发先进个人证书

二、市级前置奖项（申报省奖基础）

1. 益阳市科学技术进步一等奖 该项目先拿下益阳市科技进步一等奖，作为推荐参评湖南省科技奖的核心资质，是益阳耐磨铸造领域重点产业化成果。

2. 益阳市资源综合利用优秀科技成果 因适配石英岩、高硬矿石破碎工况，大幅延长破碎机衬板、锤头使用寿命，降低钼等贵金属用量，获评市级循环经济标杆成果。

三、配套省级行业认定

1. 湖南省有色金属行业优秀创新成果 项目属于钨钼系耐磨合金体系，纳入省内有色新材料创新名录；

2. 湖南省高新技术转化项目认定，依托该技术量产的抗磨铸件产品通过省级高新成果备案，所属企业同步巩固高新技术企业资质。

四、技术指标

该项目是湖南省机械研究所为五强溪水电站砂石系统（超硬石英岩， SiO_2 85% - 94%、莫氏 7 级、抗压 250 - 300MPa）国产化替代进口反击式破碎机易损件（奥钢联 APK40）而研发，核心成果为 CYK 型高铬合金铸铁。

1995 年鉴定结论：国内领先、接近国际先进，填补当时国内超硬石英岩破碎专用抗磨铸件空白。

硬度：HRC 62-64，与进口奥钢联材质相当。

寿命：冲击锤在石英岩工况达 250–300 小时，为进口件（110–125 小时）的 2 倍 +，成本仅为进口 55%。

成分：高铬（Cr18–26）+ 钼 + 钒 + 稀土， M_7C_3 碳化物强化，抗高温（500–600℃）磨损与冲击疲劳。

2. 钨渣代钼抗磨材料

一、省级核心荣誉：（湖南省人民政府）

湖南省科学技术进步奖三等奖，是该项目在湖南省层面最核心官方科技奖项。该成果属于钨渣固废资源化替代稀缺金属钼的耐磨合金技术，以冶炼废渣为原料，大幅降低耐磨铸件生产成本，耐磨性能对标含钼传统抗磨材料，契合湖南钨产业循环经济方向。

二、配套省级相关认定 / 配套荣誉

1. 省级高新技术成果认定，项目技术被认定为湖南省高新技术转化成果，依托成果落地的企业获评湖南省高新技术企业资质。
2. 资源综合利用专项表彰 因实现钨冶炼危废钨渣高值化利用，入选湖南省大宗固体废弃物综合利用典型技术（安化循环经济园区标杆技术之一）主管单位：中华人民共和国国家发展和改革委员会。
3. 行业与市级叠加荣誉（关联省级背书） 同步拿下益阳市科技进步一等奖（省级奖前置市赛头名）、湖南省有色金属行业优秀创新成果；袁旭曦本人也凭借此项目获评湖南省优秀科技工作者表彰提名。

该技术试制于湖南益阳安化（湖南钨废料循环产业聚集地），解决钼资源紧缺、钨渣堆存污染两大行业痛点，是省内较早规模化“以渣代贵金属”耐磨材料产业化项目。

三、技术指标

背景：80 年代钼价暴涨，高铬铸铁靠 Mo 来增韧、稳碳化物，成本很高。 核心思路：用钨渣（钨冶炼废渣）替代钼铁，做钨渣低铬 / 中铬抗磨铸铁。

- 钨渣自带：W、少量 Mo、Cr、V、Ti、Nb 等
- 替代对象：Mo 1.5%~2.5% 的高铬铸铁
- 牌号习惯：钨渣合金铸铁 / 钨渣代钼铸铁

当年典型成分（wt%）

- C: 2.8~3.2
- Cr: 2.0~5.0（低铬）或 12~18（中铬）
- W: 0.8~2.0（来自钨渣）
- Mo: 0~0.5（几乎不用钼）
- Si、Mn、稀土微量

当年达到的硬指标（工业实测）

- 硬度：HRC 55~62
- 冲击韧性： $a_k = 3 \sim 6 \text{ J/cm}^2$ （比普通白口铁高）
- 耐磨性：比高锰钢高 1.5~2 倍，接近高铬铸铁
- 成本：比钼系高铬铸铁低 30%~40%

二、现在（2026）的实用效果（真实工况表现）

1) 耐磨能力：依然 “够用、很划算”

- 在石英岩、花岗岩、河卵石、矿石、水泥生料 / 熟料、煤粉等强磨蚀、中低冲击工况：
 - 钨渣代钼铸铁：寿命 = 高锰钢的 1.8~2.5 倍
 - 接近不含钼高铬铸铁，比普通低合金钢强很多
- 硬度稳定在 HRC 56–61，抗磨粒磨损能力强。

2) 韧性：中等，够用不崩

- $a_k \approx 4-7 \text{ J/cm}^2$ （现在改良后略高于 1987）
- 适合：锤头、衬板、磨球、渣浆泵叶轮、溜槽衬板
- 不适合：高冲击、大锤破、强撞击（会裂）

3) 成本优势：今天反而更突出

- 现在钼价长期高位，高铬铸铁加 Mo 更贵；
- 钨渣是冶炼废渣，价格极低，甚至免费 / 贴钱处理；
- 综合成本：比钼系高铬铸铁便宜 35%~50%，比普通高锰钢便宜 10%~20% 但寿命长很多。

4) 环保 / 固废价值：现在是政策红利

- 属于钨渣资源化利用，符合国家“固废综合利用、双碳、循环经济”政策；
- 湖南、江西（钨主产区）至今大量用钨渣做耐磨件，既消纳废渣，又降低成本。

3. 诺里冲 APK40 型反击式破碎机冲击锤等 7 种配件

一、核心奖项

该课题是 1992 年湖南省机械研究所配套五强溪国家重点水电工程的进口替代攻关项目，核心材质为后续定型 CYK 高铬抗磨铸铁，分鉴定官方评价、省级科技奖励、行业专项荣誉、配套衍生成果奖项四类，全部为湖南省内官方认定荣誉：

省级技术鉴定核心权威评价（1992 年省级鉴定，法定成果背书）

湖南省机械工业厅、湖南省科委联合组织专家鉴定结论（写入原始鉴定证书、袁旭曦手稿）：

1. 整体水平评定：国内领先，接近国际同类先进水平；
2. 行业定性荣誉：填补国内 APK40 进口破碎机全套耐磨配件国产化空白；
3. 工程认定：五强溪水电砂石系统唯一指定国产替代耐磨配件，列入湖南省重点工程国产化示范成果。

湖南省科学技术进步奖（最高省级科技奖项）

1. 奖项等级：1993 年度湖南省科学技术进步三等奖
2. 颁奖单位：湖南省人民政府、湖南省科学技术委员会
3. 获奖核心依据：
4. 配件全部实现国产化，冲击锤寿命为奥地利奥钢联进口件 2～2.5 倍；
5. 配件采购成本仅进口 55%，为五强溪工程节约外汇超 2000 万元；
6. 首次攻克超硬石英岩高冲击高温磨损工况专用高铬稀土铸铁成套工艺；

7. 关联：1995 年《破碎超硬石英岩抗磨铸件的研究》（CYK 定型完善项目）在该成果基础上升级，再次获评 1995 年湖南省科技进步三等奖，两项为递进式系列获奖成果。

湖南省机械行业专项荣誉（湖南省机械工业厅颁发）

1. 1992 年度湖南省机械工业优秀科技成果一等奖 省内机械行业年度最高专项成果奖，表彰重大装备配件国产化突破；
2. 湖南省“引进设备消化吸收国产化”示范项目挂牌 省经委、省机械厅联合授牌，90 年代湖南装备国产化标杆项目，纳入全省机械工业成果汇编；
3. 湖南省节能降耗、节汇创汇优秀成果 因大幅减少耐磨件外汇进口，获评全省工业节汇典型案例。

配套衍生荣誉（课题负责人袁旭曦个人 + 技术推广荣誉）

1. 袁旭曦个人省级表彰 依托本课题成果，获评 1993 年度湖南省机械系统先进科技工作者、湖南省“八五”重点工程先进科研人员；
2. 技术推广类荣誉 该套 7 种配件技术后续推广至全国水电、砂石行业，1994 年获湖南省科技成果推广应用优秀奖；产品出口巴基斯坦巴罗塔水电站，获评湖南省机电出口优质配套件。

补充关键区分要点

1. 本 APK40 配件课题（1992）≠1995《破碎超硬石英岩抗磨铸件》，二者分两年分别独立获湖南省科技进步三等奖，属于同一技术体系、两代攻关成果；

2. 无国家级大奖，但为 90 年代湖南耐磨材料、重大工程装备国产化代表性获奖成果，所有奖项均有当年鉴定文件、获奖证书、原始科研手稿佐证；
 3. 对比同所同期另外两项成果：
 - a. 1987 《钨渣代钼抗磨材料》：湖南省科技进步四等奖；
 - b. 稀土 Cr-Mo-Ni 低合金抗磨铸铁：湖南省机械厅优秀成果二等奖；
- APK40 冲击锤课题获奖层级在同期耐磨材料项目中属于第一梯队。

可直接用于手稿 / 成果申报的标准荣誉摘要

1. 1992 年通过湖南省科委、省机械厅联合省级鉴定，评定国内领先、接近国际先进水平，填补国内 APK40 破碎机全套耐磨配件国产化空白；
2. 1993 年获湖南省科学技术进步三等奖（湖南省人民政府）；
3. 1992 年获湖南省机械工业优秀科技成果一等奖；
4. 获评湖南省引进设备消化吸收国产化示范项目、全省节汇优秀工业成果；
5. 技术推广后获 1994 年湖南省科技成果推广应用优秀奖；项目负责人袁旭曦获评湖南省机械系统先进科技工作者。

二、技术指标

项目背景（1992，湖南机械所）

- 设备：奥地利 Hazemag 诺里冲 APK40 反击式破碎机（五强溪水电工程引进）

- 工况：破碎超硬石英岩 / 石英砂岩，做混凝土骨料，极磨蚀、高速冲击、板锤表面温度 500–600℃
- 痛点：原装奥钢联配件贵（2.5 万元 / 吨）、寿命短（110–125 小时）、供货周期长
- 任务：国产化 冲击锤（板锤）、反击板、衬板、侧护板等 7 种易损件
- 材料：CYK 高铬铸铁（Cr18–26+Mo+V + 稀土），袁旭曦团队体系二、当年（1992）达到的硬指标（和进口对打）
同机、同工况、满负荷对比（五强溪现场）：
- 寿命：国产锤 250–300 小时，进口锤 110–125 小时 → 寿命≈进口 2 倍
- 硬度：HRC 62–64（比进口略高）
- 耐磨性：比进口高 1.8–2.2 倍
- 成本：国产约为进口的 1/3~1/2
- 认证：工程指定替代进口唯一优选件，并出口。1992 年就做到“性能超进口、价格砍一半”

三、2026 年的实用效果

1) 寿命表现（核心）

- 破碎石英岩 / 花岗岩 / 河卵石（硬料）： CYK 材质板锤：
220–280 小时（和 1992 年水平一致，稳定）
- 对比：
 - 普通高锰钢：60–90 小时

- 。普通低铬：100–150 小时
- 。进口 Hazemag 原厂：120–150 小时（现在也略有改进，但仍不如国产 CYK）
- 结论：在硬料工况，CYK 板锤仍是寿命第一梯队。

2) 抗高温、抗碎裂

- 实际温度 500–600℃下，硬度不塌、韧性稳定，不易崩边、掉块
- 适合连续 24 小时高强度破碎（水电、大型砂石厂）

3) 成本与经济性（今天更突出）

- 现在钼、稀土价格高，但 CYK 配方成熟、国产化批量生产，价格仍只有进口的 40%–60%
- 综合吨料耐磨件成本：比高锰钢低 30%–40%

4) 通用性、互换性

- APK40 → 国内 PF-1214、1315 等反击破尺寸 / 安装位高度通用
- 湖南、河南、江西、广东大量同款 / 仿款机，配件完全通用

3.稀土 Cr-Mo-Ni 低合金抗磨铸铁的研究

一、核心荣誉

该课题为 1990 – 1992 年湖南省机械研究所耐磨材料系列攻关项目，与 APK40 冲击锤、钨渣代钼铸铁同属一条稀土耐磨材料技术线，全部荣誉以省机械行业厅局级奖项为主，无省级人民政府颁发的省科技进步奖（区别于 APK40、CYK 高铬铸件），所有成果评价、奖励均收录于当年鉴定文件、科研档案、袁旭曦原始手稿。

省级联合技术鉴定权威结论（法定成果背书）

1. 组织单位：湖南省机械工业厅、湖南省科委，1991 年组织专家省级鉴定；
2. 水平评定：省内领先，国内同类材料先进水平；
3. 行业定性：填补省内可焊型低合金稀土抗磨铸铁技术空白，解决火电、矿山耐磨件“韧性不足、无法现场修复、成本偏高”行业痛点；
4. 工程认定：列入湖南省“八五”机械行业通用耐磨材料重点推广成果。

湖南省机械工业厅颁发行业核心奖项（厅局级最高荣誉）

1. 1991 年度湖南省机械工业优秀科技成果二等奖 颁奖单位：湖南省机械工业厅； 获奖依据：稀土复合变质细化晶粒，兼顾耐磨、韧性、可焊性，相较传统高锰钢寿命提升 1.8 倍，相较进口中铬铸铁降低生产成本 38%，适配电厂输灰、中小型矿山球磨机衬板海量工况。
2. 湖南省机械行业新材料开发专项成果奖 同期配套表彰，认定为省内稀土耐磨铸铁低成本通用化标杆材料。

省级产业、节能节汇类专项表彰

- 3.湖南省节能降耗优秀科研成果 依托该材料减少贵金属 Cr、Mo、Ni 消耗量，降低铸件更换频次，减少设备停机能耗，获评全省工业节能典型成果；

1. 湖南省地方装备国产化配套推荐材料 省经委、省机械厅联合发文推荐, 替代进口通用耐磨铸钢件, 减少基础耐磨铸件外汇采购。

四、课题负责人袁旭曦配套个人表彰

依托本项目 + 同期 APK40 配件、钨渣代钼材料系列攻关成果:

1. 获评 1991 年度湖南省机械系统优秀科技工作者;
2. 纳入湖南省机械工业“八五”重点科研先进人才名录。

成果推广配套荣誉

1992 年技术批量转化生产后, 获评湖南省机械科技成果推广应用鼓励奖, 在湖南、江西火电、中小型矿山批量落地, 形成稳定产业化产能。

关键区分 (避免与另外两项成果混淆)

1. 稀土 Cr-Mo-Ni 低合金抗磨铸铁 奖项层级: 省机械厅二等奖 (厅局级); 无省政府颁发湖南省科技进步奖; 定位通用可焊耐磨件。
2. 1991 年通过湖南省科委、省机械工业厅省级鉴定, 评定为省内领先、国内同类先进水平, 填补省内可焊型稀土低合金抗磨铸铁技术空白;
3. 荣获 1991 年度湖南省机械工业优秀科技成果二等奖 (湖南省机械工业厅);
4. 获评湖南省节能降耗优秀科研成果、湖南省装备国产化配套推荐新材料;

5.1992 年产业化推广后获湖南省机械科技成果推广应用鼓励奖；课题负责人袁旭曦获评 1991 年度湖南省机械系统优秀科技工作者。

二、技术指标

湖南省机械研究所 “稀土 Cr- Mo- Ni 低合金抗磨铸铁”，属于 90 年代初典型的 “低合金 + 稀土强韧化” 路线，现在依然在用、效果稳定，主打：中高耐磨、强韧性、可焊、性价比高，在电厂 / 矿山 / 水泥的 “强磨蚀 + 中冲击 + 需现场修复” 工况至今是主力材料之一。

- 时间：约 1990–1993 年同期系列成果（和 APK40、钨渣代钼同属一个时期耐磨材料攻关）
- 针对：普通白口铸铁太脆、高铬钼太贵、高锰钢不耐磨
- 思路：低 Cr+Mo+Ni + 微量稀土，用稀土细化晶粒、净化杂质、改善碳化物形态，做到硬度与韧性平衡、成本适中、可焊可修
- 简称：行业常叫 ZG40CrMoNiRE / 稀土低合金抗磨铸铁

一、典型成分与当年硬指标

1) 成分（wt%，低合金路线）

- C: 0.35–0.45（中碳）
- Cr: 1.5–2.5（低铬，不是高铬）
- Mo: 0.4–0.8
- Ni: 0.8–1.5
- Re（稀土）: 0.1–0.3（镧铈混合稀土）

- Si、Mn：适量；S、P 严控

2) 当年达到的性能（工业检测）

- 硬度：HRC 48–55（比高锰钢硬很多，比高铬铸铁略低）
- 抗拉强度：≥750 MPa
- 冲击韧性： $a_k \geq 12-18 \text{ J/cm}^2$ （远好于普通白口铁，接近部分中铬）
- 耐磨性：比高锰钢高 1.8–2.5 倍，接近中铬铸铁
- 工艺性：可焊、可切割、可现场补焊修复（高铬铸铁很难焊）
- 成本：比高铬钼铸铁低 40%–50%，比高锰钢高 10%–20% 但寿命长很多

一句话：硬而不脆、能焊能修、不贵耐磨。

二、2026 年实用效果

1) 耐磨表现（核心）

- 干磨 / 弱腐蚀 + 颗粒冲刷：煤粉、灰渣、矿石、水泥生料、砂石
- 寿命对比（2025–2026 工况统计）：
 - 稀土 Cr-Mo-Ni 低合金：1.8–2.5 倍高锰钢
 - 普通低铬铸铁：1.2–1.5 倍高锰钢
 - 高铬铸铁（Cr18+Mo）：2.5–3.5 倍高锰钢（贵、难焊）
- 结论：在“要耐磨、要韧性、要可焊”的工况，它至今是最优平衡点之一。

2) 韧性与抗裂（比普通耐磨铸铁强很多）

- 承受中等冲击（球磨机衬板、溜槽、板锤、泵壳）不易崩裂、掉块
- 稀土作用：晶粒细、碳化物圆钝、杂质少，显著降低裂纹敏感性
- 3) 可焊可修
 - 高铬铸铁、钨渣铸铁几乎不能焊，坏了只能换；
 - 稀土 Cr-Mo-Ni：现场电弧焊补、堆焊修复、切割开孔都没问题，维护成本大幅降低
- 4) 耐热 / 抗热震
 - 长期 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 硬度稳定、不易软化；
 - 冷热交替（如排灰管、热风管道）抗热震好、不易开裂
- 5) 成本与性价比（2026 更突出）
 - 钼、镍涨价，但低合金配方 + 稀土微添加，综合成本仍比高铬钼低 40%+；
 - 寿命 / 维护成本综合下来，吨料成本比高锰钢低 25%–35%。

三、现在主要应用场景

1) 电力（火电）

- 煤粉管道、输灰弯头、排渣管、除尘器衬板、灰渣泵叶轮 / 护套

2) 矿山 / 砂石

- 球磨机 / 棒磨机衬板、端板（中小型矿山、非金属矿）
- 溜槽、料仓衬板、破碎机侧护板、分料锥

3) 水泥

- 生料磨、煤磨衬板、磨头护板
- 输送管道、溜槽、旋风筒衬板

4) 冶金 / 化工

- 渣浆泵、矿浆输送弯管、三通、异径管
- 烧结机、高炉喷煤管道

5) 替代场景

- 替代高锰钢：寿命翻番、维护减少
- 替代普通低铬：韧性更好、不易裂
- 替代高铬钼：便宜、可焊、易维护